

\* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

(57) [Claim(s)]

[Claim 1] 1st means to determine or correct the desired value about either of the movement magnitude in the a. aforementioned robot's stairway rise and fall, and the migration direction at least in the control device of the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk, It has 2nd means to detect the relative relation between the b. aforementioned robot and a stairway. And said 1st means The control unit of the leg formula mobile robot characterized by being that by which

said 2nd means is based on said relative relation detected by n steps of arbitration, and determines or corrects said the n+1st step of desired value as follows.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

#### [0001]

[Industrial Application] When this invention more specifically goes up and down a stairway about a mobile robot's control unit, it relates to the thing which enabled it to move to a landing location also in the environment where constraint is received at stability and a high speed.

#### [0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, as a technique about a mobile robot, robots, such as a wheel type, a crawler type, and a leg formula, are proposed. In it, as a thing about a leg formula mobile robot's control technique The technique about the robot of 1 piece () [ Raibert, M.H., Brown, Jr.H.B., ] [ "Experiments in Balance With a 2D One-Legged Hopping ] Machine", ASME, J of DSMC, vol.106, pp.75-81 (1984), The technique about the robot of 2 pieces (203 Robotics

Society of Japan vol.I, no. 3, pp.167- 1983), The technique about the robot of 4 pieces (643 9 Robotics Society of Japan vol. no. 5, pp.638- 1991), The technique about the robot of 6 pieces () [ Fischetti, M.A., and "Robot Do the Dirty Work" IEEE, spectrum, vol.22.no.4, ] [ pp.65-72(1985).Shin-Min ] Song and Kenneth J. Waldron, "Machines That Walk;The Adaptive Suspension Vehicle", The MIT Press Much Cambridge(s) and Massachusetts(es) are proposed. furthermore, the technique (Shimoyama --) which generates a stable migration (walk) pattern dynamically on real time by the robot of a low degree of freedom comparatively The volume "dynamic walk of a 2 pairs of bamboo horse mold bipedal robot", and on Japan Society of Mechanical Engineers collected-works C, The 48th volume, No. 433, pp.1445-1454, 1982., and "Legged Robots on Rough Terrain;Experiments in Adjusting Step Length", by Jessica Hodgins.IEEE and 1988, The technique (JP,62-97006,A, JP,63-150176,A) which generates a stable migration (walk) pattern is also comparatively proposed off-line by the robot of many degrees of freedom. Moreover, these people have also proposed the control unit of a 2-pair-of-shoes bipedal robot by Japanese Patent Application No. No. 336420 [ two to ] etc. previously.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, when a mobile with a discrete landing location moves the environment where constraint is received to

a landing location like a leg formula mobile robot (for example, when going up and down a stairway etc.), it is necessary to control a landing location careful. That is, if a crawler bearing area utilizable in order that the relative position of a robot and a stairway may maintain back past \*\* and stability becomes small, a position becomes unstable and a relative position passes a front conversely in case a leg formula mobile robot goes up a stairway, as shown in drawing 13 , when moving to the next stage, \*\*\*\* will interfere and the stability of a position will be broken down similarly. Thus, when landing locations, such as a stairway, move the environment where constraint is received, it is necessary to control the relative position of a robot and a stairway.

[0004] Moreover, in relation to this, some things which control \*\*\*\* to land on a target position at accuracy are proposed conventionally. For example, the technique walked by the so-called guide-peg probe which searches a landing location and determines a control value is proposed, attaching a non-contact type ultrasonic sensor, a contact type touch sensor, etc. at the head of a guide peg, and processing a detecting signal frequently. Moreover, that around which he is walked so that it may become as the value with which a robot's actual step (gait) was designed by control which suppresses an oscillation of a robot's foot etc. is also proposed. Although such technique is based on the idea which is going to prevent beforehand generating of the relative-position error of a robot

and a actual stairway, since it walks detecting a landing location by \*\*\*\* when based on the former technique, when walking speed cannot be gathered and it is based on the latter technique, there is inconvenience from which the control unit of high performance is needed, and a control configuration becomes complicated.

[0005] Therefore, the object of this invention is to offer the control unit of a mobile robot comparatively simple also as a control configuration while it is the stable position and can be moved to a high speed, also when mobile robots, such as a leg formula robot, move the environment where constraint is received in migration, such as a stairway.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, this invention is set to the control unit of the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk, as shown for example, in claim 1 term. 1st means to determine or correct the desired value about either of the movement magnitude in said robot's stairway rise and fall, and the migration direction at least, And it had 2nd means to detect the relative relation of said robot and stairway, and said 1st means was constituted so that said 2nd means might be based on said relative relation detected by n steps of arbitration and might determine or correct said the n+1st step of desired value as follows.

[0007]

[Function] Since it is based on said detected relative relation and said the n+1st step of desired value as follows was determined or corrected by n steps of arbitration, accumulation of a relative-position error can be prevented, and though it is a simple configuration, it can move to a high speed with the position stabilized also when moving an environment with constraint.

[0008]

[Example] Hereafter, taking the case of the robot of a 2-pair-of-shoes walk, the example of this invention is explained as a leg formula mobile robot. Drawing 1 is explanation skeleton drawing showing the robot 1 on the whole, and equips the leg link 2 of each right and left with six joints (the electric motor which drives it shows each joint for the facilities of an understanding). To the order from a top, the joints of these six individuals are the joints 10R and 10L (right-hand side is set to R and left-hand side is set to L.) for leg winding of the waist. Below The same joints 12R and 12L of the pitch direction (it rotates to the circumference of a x axis) of the waist, The joints 14R and 14L of this roll direction (it rotates to the circumference of the y-axis), the joints 16R and 16L of the roll direction of a knee region, While being the joints 18R and 18L of the roll direction of a guide-peg neck, and the joints 20R and 20L of this pitch direction and attaching \*\*\*\* (foot) 22R and 22L in the lower part, a case (base) 24 is formed in the most significant,

and a control unit 26 is stored in the interior.

[0009] In the above, a waist joint consists of joint 10R (L), 12R (L), and 14R (L), and an ankle joint consists of joint 18R (L) and 20R (L). Moreover, it is the thigh links 32R and 32L between a waist joint and a knee joint, and is connected by the leg links 34R and 34L between a knee joint and an ankle joint. Here, the leg link 2 can give six degrees of freedom about a guide peg on either side, respectively, and it can give the movement toward a request to the whole guide peg, and it consists of driving these  $6 \times 2 = 12$  piece joints (shaft) at a respectively proper include angle during a walk so that three-dimension space can be walked to arbitration. Although it has the reducer which the above-mentioned joint which stated previously consists of an electric motor like, and doubles the power that output further, since that detail is given to the application (Japanese Patent Application No. No. 324218 [ one to ], JP,3-184782,A) which these people proposed previously and it is not just going to consider in itself as the summary of this invention, the explanation beyond this is omitted.

[0010] In the robot 1 which shows drawing 1, well-known 6 axial-tension sensor 36 is formed in a guide-peg neck, the force components  $F_x$ ,  $F_y$ , and  $F_z$  of  $x$ ,  $y$ , and the direction of  $z$  transmitted to a robot through \*\*\*\* and the moment components  $M_x$ ,  $M_y$ , and  $M_z$  of the circumference of the direction are measured, and the existence of landing of a foot, the magnitude of the force of joining a

support saddle, and a direction are detected. Moreover, it is extensively stuck on it in the shape of a matrix, many touch sensors 38 being covered with a protective coat 380 by the rear face of \*\*\*\*22R (L) as shown in drawing 2 . A touch sensor 38 is well-known, conductive rubber material is included, and if \*\*\*\*22R (L) contacts a floor line and crushing of the conductive rubber material is carried out, electric resistance will change. A touch sensor 38 is connected to the processing circuit 39. Drawing 3 is the explanatory view show the detail of the processing circuit 39, and the output of a touch sensor 38 is send to the sensor actuation control section 390 as an analog value, respectively, a sensor output group is scan [ then, ] to a perpendicular direction and a horizontal direction by well-known technique, and it is measure with the threshold of a multiple value, and is output to the image processing section 391 as a video signal of the value according to the configuration of an object where synthesized the comparison result and \*\*\*\*22R (L) contacted, and a degree of hardness. In the image-processing section 391, it collates with a storing database and the configuration and contact location of the contactant are detected. Furthermore, the dip sensor 40 is installed in a case 24, and the inclination to the z-axis within a x-z flat surface, the angular velocity and an inclination [ similarly as opposed to the z-axis within a y-z flat surface ], and its angular velocity are detected to it. Moreover, the rotary encoder which detects the rotation is prepared in the

electric motor of each joint. Furthermore, although omitted in drawing 1, the zero switch 42 for amending the output of the dip sensor 40 and the limit switch 44 for the cure against fail are formed in a robot's 1 proper location. These outputs are sent to the control unit 26 in the above mentioned case 24.

[0011] Drawing 4 is the block diagram showing the detail of a control unit 26, and consists of microcomputers. In there, the output of the dip sensor 40 etc. is changed into digital value with A/D converter 50, and the output is sent to RAM54 through a bus 52. Moreover, while the output of the encoder which adjoins each electric motor and is arranged is inputted in RAM54 through a counter 56, a touch sensor output is similarly stored for the output of a zero switch etc. in RAM54 through an input circuit 59 through a waveform shaping circuit 58. In the control unit, the 1st and 2nd arithmetic unit 60 and 62 which consists of a CPU is formed, and like the after-mentioned, the 1st arithmetic unit 60 computes a target joint include angle by reading the gait parameter stored in ROM64, and sends it out to RAM54. Moreover, like the after-mentioned, the 2nd arithmetic unit 62 reads the desired value and the detected actual measurement from RAM54, and outputs it to the electric motor which computes a control value required for actuation of each joint, and drives each joint through D/A converter 66 and a servo amplifier.

[0012] Then, actuation of this control unit is explained.

[0013] Although drawing 5 is a flow chart which shows actuation of this control device, before starting that explanation, the description of this invention is explained below with reference to drawing 6.

[0014] If it puts in another way as that premise when several steps of rise and fall are possible even if this invention does not control the relative position of a robot and a stairway, the range which can be walked to the relative position of a robot and a stairway will exist, and it will consider the case where the relative-position error generated in the rise and fall which are one step is small. It enabled it to go up and down a stairway continuously by not performing control for landing \*\*\*\* on a target position in this invention at accuracy, since it thinks [ that it is actually such in many cases and ], but performing control which prevents that this relative-position error accumulates, and controlling within limits with the walk possible in which which described the relative position of a robot and a stairway above, although it approves that a relative-position error occurs in one step of arbitration. Since it can be gone up and down at a high speed compared with the above mentioned conventional technique since this invention does not need to detect the location of a stairway using \*\*\*\*, and it does not need the control unit of high performance so much, it becomes simple constituting it.

[0015] Drawing 6 is control-block drawing in the example of this invention. A target landing location (desired value) and  $U(z)$   $S(z)$  by a diagram A step

command value (control input), A real landing location (controlled variable) and  $E(z)$   $Y(z)$  A relative-position error (system deviation), In an integral element and  $(1/z)$ , 1 sampling lag unit and  $K(z)$  express a control device, and, as for delta ( $z$ ),  $G(z)$  expresses [ disturbance and  $I(z)$ ] the pulse transfer function from a robot's (controlled system) step command value to a real step. These relation comes to be shown in several 1 and several 2.

[0016]

[Equation 1]

$$\begin{aligned}
 Y(z) &= \frac{G(z) \{1 + z^{-1} I(z) K(z)\}}{1 + z^{-1} I(z) K(z) G(z)} S(z) \\
 &+ \frac{1}{1 + z^{-1} I(z) K(z) G(z)} \Delta(z) \\
 &= \frac{G(z) \{z - 1 + K(z)\}}{z - 1 + K(z) G(z)} S(z) \\
 &+ \frac{z - 1}{z - 1 + K(z) G(z)} \Delta(z)
 \end{aligned}$$

[0017]

[Equation 2]

$$E(z) = \frac{z \{ 1 - G(z) \}}{z - 1 + K(z) G(z)} S(z)$$

$$= \frac{z}{z - 1 + K(z) G(z)} \Delta(z)$$

[0018] Temporarily, for simplification, Gain k, then conditions for stability show G(z) to Gain g, and come to show control unit K(z) to several 3.

[0019]

[Equation 3]

$$\text{安定条件} \quad |z| < 1$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 - kg < 1 \rightarrow -kg < 0 \rightarrow kg > 0 \\ -1 < 1 - kg \rightarrow -2 < -kg \rightarrow kg < 2 \end{array} \right\} 0 < kg < 2$$

[0020] Moreover, if the die length of a stairway is fixed at L (shown in drawing 7), since a target position will change in the shape of a step, the steady-state deviation over this comes to be shown in several 4, and is converged on constant value according to k, g, and L.

[0021]

[Equation 4]

$$\begin{aligned}
 e^\infty &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot \frac{z}{z-1} L \cdot \frac{z(1-g)}{z-1+kg} \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z(1-g)}{z-1+kg} L \\
 &= \frac{1-g}{kg} L
 \end{aligned}$$

[0022] Similarly, the steady-state deviation over the disturbance of the shape of an impulse of magnitude D and step-like disturbance comes to be shown in several 5 and several 6, and is converged on constant value according to 0, or k, g and D.

[0023]

[Equation 5]

$$\begin{aligned}
 e^\infty &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot z^{-e} \cdot D \cdot \frac{z}{z-1+kg} \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{(z-1) \cdot z^{-e}}{z-1+kg} D \\
 &= \frac{0}{kg} D \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

[0024]

[Equation 6]

$$\begin{aligned}
 e_{\infty} &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot \frac{Dz}{z-1} \cdot \frac{z}{z-1+kg} \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z}{z-1+kg} D \\
 &= \frac{1}{kg} D
 \end{aligned}$$

[0025] What is necessary is just to determine Gain k so that it may be promptly completed by the relative-position error generated according to disturbance etc. and steady-state deviation may be settled in tolerance. Furthermore, if control unit K(z) is constituted so that an integral element may be included, steady-state deviation over step-like desired value and step-like disturbance can be set to 0.

[0026] In the example, G(z) was first identified as gain g. Drawing 8 expresses  $x(n)/u(n)$  with a histogram. Although he wanted to identify G which does not include the effect of disturbance (z), i.e., g, originally, since detection of  $w(n)$  was difficult, it identified from  $x(n)/u(n)$ . Since it is presumed that what is depended on disturbance is large as for the factor of the skirt being large, it does not become a big problem as gain about G(z). Since the core of distribution was 1.02, it was thought that it was good also as  $g=1.02$ , but it was referred to as  $g=$

1.06 in order to evaluate to an insurance side. Control unit K (z) is made into Gain k. Conditions for the control system at this time to become stability are set to  $0 < k < 1.89$  ( $\frac{**2}{g}$ ) from several 3 formulas. From several 4 formulas etc., k set to  $k = 0.5$  or  $0.75$ , in order that steady-state deviation might avoid that the property of a control system becomes in oscillation although it becomes small and the larger one might give allowances to gain. Moreover, the result when not performing this control for a comparison is shown in drawing 9. In the case of  $k = 0.5$ , drawing 11 of drawing 10 is the case of  $k = 0.75$ . The die length of the stairway which each went up and down is 280mm. When not performing this control so that clearly from drawing 9, a relative-position error will increase almost linearly and it will exceed 20mm in the 3 to 4th step. On the other hand, as for it, the result of having performed this control turns out [ which were shown in drawing 10 and drawing 11 ] like that a relative-position error is not emitted but is converged on about 1 constant value. It is converged as about 10mm by the case of  $k = 0.5$ , and the case of  $k = 0.75$  is converging the relative-position error on about 7.5mm. Since it is set to 7mm as  $g = 1.02$  at the time of 11mm and  $k = 0.75$  at the time of  $k = 0.5$  according to several 4 formulas, the result of an example is seen theoretically and it turns out that it is appropriate.

[0027] With reference to the drawing 5 flow chart, actuation of this control unit is explained on the assumption that the above.

[0028] First, each part of equipment is initialized by S10, and it progresses to S12, and loads from ROM64 which described the gait parameter above there. In this example, a robot's gait is beforehand designed in consideration of dynamic stability conditions, and is memorized by ROM64 as a gait parameter. This gait parameter is expressed in a \*\*\*\* target landing location etc. Then, if it progresses to S14, a start signal is stood by and a start signal arises, it progresses to S16, and a counter will be incremented, and it will progress to S18, and will judge whether it is gait correction timing. About this, it mentions later.

[0029] Then, a position parameter is calculated by progressing to S20. Since this has some which need a interpolation operation in the above mentioned gait parameter, it calculates the position parameter of the time of day which asks for it here and is specified with the counter of S16. Then, unless progress to S22, and calculate the include angle of 12 joints and it progresses to S24, and stand by a synchronizing signal, outputs the joint include angle computed by having progressed to S26 in the place which was able to take the synchronization, it progresses to S28 and it is judged as walk termination, while returning to S16 and repeating the same activity, when judged as termination, it progresses to S30, and a counter is reset and it finishes. That is, the loop formation of S16 to S28 is carried out to every [ of the counter of S16 ] unit time amount (for example, 20ms). Moreover, although servo control is performed-like in parallel according

to the flow chart shown in drawing 12 in the 2nd arithmetic unit 62 described above so that it might become that joint include angle based on the joint include angle outputted by S26, since this activity is well-known, explanation is omitted.

[0030] In the procedure so far, a robot reproduces and walks a stable gait on the dynamics target designed beforehand. Moreover, control for maintaining the stability of a walk against disturbance is also performed simultaneously.

However, the explanation about stabilization control is omitted here. It can go up and down a stairway until a relative-position error is accumulated and it separates from a robot by the described technique by the above from the range which can walk a relative position. In this example, when die length went up and down the general stairway which is 280mm, the range which can walk the above mentioned relative-position error was influenced by \*\*60mm, and an environment and disturbance, but on the average, since the relative-position error generated in per rise and fall of one step of stairway was about 5 to 10mm, it has gone up and down succeeding ten-step order.

[0031] Here, although it was judged in the drawing 5 flow chart whether it is gait correction timing in S18, the event of a foot carrying out bed leaving in this control was made into gait correction timing. Since having considered timing which detects a relative-position error as the time of bed leaving in this example can correct a \*\*\*\* orbit using between [ whole ] swing phases if a relative-position

error is detected before bed leaving and it feeds back to a target landing location, while modification that it is not rapid and smooth is attained and being able to suppress lowering of the stability of a gait to the minimum, it is because the newest relative-position error can be used for control in time.

[0032] And when judged as the time of bed leaving by S18, it progresses to S32, when the robot has gone up and down the stairway, the touch sensor 38 arranged at \*\*\*\*22R (L) detects the edge of a stairway for every step, and a relative-position error with a stairway is detected as compared with the target position of the edge indicated in the gait parameter. Then, the target landing location which it does not accumulate according to the relative-position error which progressed to S34 and was detected and which determines the suitable amount of target step corrections like, progresses to S36 continuously, and is indicated in the gait parameter is rewritten. Updating of a target landing location specifically changes a step from the gait with which a robot's gait was designed beforehand. For example, by +20mm, as for 0.5, then the step of one step as follows, the relative-position error in the stage of arbitration may be  $280\text{mm}(\text{die length of stairway})-(20\text{mm}\times 0.5) = 270\text{mm}$  so that clearly [ gain ] from drawing 7. And since the landing location of \*\*\*\*22R (L) is determined by the revolution of the circumference of x, y, the directions of z, and those shafts, those all or parts are corrected so that it may become the changed step. If the above procedure is

repeated for every step during stairway rise and fall, accumulation of a relative-position error can be prevented and any number of steps can go up and down continuously.

[0033] Although a gait shall be beforehand designed in consideration of dynamic stability conditions and it shall memorize in ROM64 as a gait parameter here, it is an aim that a robot's degree of freedom solves the stable problem beforehand, and makes the burden of the computer during a walk light from there being many amounts of operations for solving a dynamic stability problem by 12 pieces, and it is also one description. As a result of having solved the stable problem, a robot's waist location or center-of-gravity location is memorized as time series data together with the gait parameter. In connection with changing in said procedure, while walking a target landing location, a waist location or a center-of-gravity location must also be changed. Here, by this example, although the dynamic stability problem could be solved again and the waist or a center-of-gravity location could be determined, in order to maintain the above mentioned aim, the technique of correcting the time series data of the waist indicated in the gait parameter or a center-of-gravity location was used. Furthermore, since it enabled it to correspond even if it changes a landing location and a direction into arbitration in three-dimension space, the waist or a center-of-gravity location was corrected using the technique described below.

Since the waist, or a center-of-gravity location and the final amount of corrections of a direction is equal to a landing location or the amount of corrections of a direction, the final waist, a center-of-gravity location, or a direction can be found by the coordinate transformation of a parallel displacement or a rotation. Similarly, a transitional location and a transitional direction can also be searched for by coordinate transformation. At this time, it is made to continue to acceleration and the amount of corrections of a waist location is gradually changed so that the amount of corrections used as a parameter of coordinate transformation may be suddenly changed neither into a landing location nor the amount of corrections of a direction but it may be in agreement in a landing location or the direction at the time of day which lands. A waist location etc. can be corrected without spoiling greatly the stability of the gait designed beforehand according to the correction technique of this waist location and direction. Furthermore, since a robot's dynamic stable problem has strong nonlinearity, lowering of stability can be suppressed to the minimum by using not the pattern of simple acceleration continuation but the acceleration continuation pattern in consideration of a robot's property which can be described, for example by the 5th polynomial. The landing location was correctable in this example to \*\*50mm at once with this technique, maintaining a robot's position at stability.

[0034] Since it was made to make correction timing only the time of a foot carrying out bed leaving paying attention to a walk of a robot not failing if the relative-position error accumulated this example and it did not exceed tolerance like the above Since it avoided detecting a landing location and the location of \*\*\*\* frequently and correcting a control value frequently when putting in another way, a robot's walking speed can be gathered as compared with the case where the location of a stairway is detected using \*\*\*\* stated with the conventional technique. Moreover, when controlling to control an oscillation of a foot etc. and to become a target step, even if it compares, the control unit of high performance is not needed so much, but a configuration becomes simple.

[0035] In addition, whenever the foot carried out bed leaving in the above-mentioned example S18 of the drawing 5 flow chart, the gait was corrected according to the error, but a gait may be corrected only when the accumulated of the detected error comes to exceed tolerance. Moreover, it is good also as correction timing of a gait with events other than bed leaving.

[0036] Moreover, although the example applied like when [ for which its foot is not missed on a stairway ] a landing location was controlled to a cross direction explained in the above-mentioned example When walking like as the path (travelling direction) on which its foot is not missed to a longitudinal direction like when [ at which its foot otherwise is not missed when you walk on 1. sleeper ]

you walk on 2. rail and which was ordered with 3. straight line, the polygonal line, a curve, etc., 4. When going up and down 5. spiral staircase so that it may arrive and pass at the time of day set to the target point or the passage point, to a discrete thing, a parameter to control cannot ask \*\* which is a direction as it is a location, but can be widely adapted. Moreover, when going up and down a spiral staircase, it can apply also to the case where there are two or more discrete control parameters simultaneously.

[0037] Moreover, although only the example of a 2-pair-of-shoes walk leg formula mobile robot was shown, appropriate is carried out also to the leg formula mobile robot of 1 pair of shoes, and it carries out appropriate similarly in the leg formula mobile robot of 3 more or more pairs of shoes. In the case of 3 or more pairs of shoes, when a landing position error is corrected whenever the guide peg carried out bed leaving about each guide peg, or the total value of the error of each guide peg exceeds tolerance, the landing position error of one of guide pegs or all guide pegs will be corrected. Furthermore, if a landing location is the mobile restrained discretely, it will carry out appropriate not only in a leg formula mobile robot.

[0038] Moreover, although the \*\*\*\* touch sensor was used for detection of a landing position error in the above-mentioned example, it is not restricted to it and various detection means, such as an ultrasonic sensor, an optical sensor,

and a visual sensor, may be used.

[0039]

[0040]

[0041]

[0042]

[Effect of the Invention] If it is in claim 1 term, it sets to the control unit of the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk. 1st means to determine or correct the desired value about either of the movement magnitude in said robot's stairway rise and fall, and the migration direction at least, It has 2nd means to detect the relative relation of said robot and stairway. And said 1st means Since it constituted and carried out so that said 2nd means might be based on said relative relation detected by n steps of arbitration and might determine or correct said the n+1st step of desired value as follows While being able to move to a high speed with the position stabilized also when accumulation of a relative-position error was able to be prevented though it was a simple configuration, and the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk went up and down a stairway, desired value can be determined the optimal, controlling lowering of the stability of a gait to the minimum (correction).

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the schematic diagram, showing the control device of the mobile robot concerning this invention on the whole taking the case of the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk.

[Drawing 2] It is the explanatory view showing the touch sensor attached there with the bottom view of \*\*\*\* of the robot of drawing 1.

[Drawing 3] It is the block diagram showing the processing circuit of the touch sensor of drawing 2.

[Drawing 4] It is the explanation block diagram of the control unit shown in drawing 1.

[Drawing 5] It is the flow chart which shows actuation of the control unit of drawing 4.

[Drawing 6] It is the block diagram showing the landing location amendment control of the control of the drawing 5 flow chart.

[Drawing 7] It is the explanatory view showing rise-and-fall actuation of the stairway planned by drawing 6.

[Drawing 8] It is the histogram which shows the gap property of a actual landing location over the target landing location at the time of stairway rise and fall of the

robot which shows drawing 1 .

[Drawing 9] It is experimental data drawing showing the error of the target landing location when going up and down a stairway, without a robot with the property shown in drawing 8 performing control by this invention, and a actual landing location.

[Drawing 10] It is experimental data drawing showing the error of the target landing location when a robot with the property shown in drawing 8 performing control by this invention, and going up and down a stairway, and a actual landing location.

[Drawing 11] It is another experimental data drawing showing the error of the target landing location when a robot with the property shown in drawing 8 performing control by this invention, and going up and down a stairway, and a actual landing location.

[Drawing 12] It is the flow chart which shows the activity which carries out servo control of the joint include angle determined and outputted by the drawing 5 flow chart to desired value.

[Drawing 13] It is the explanatory view in which a leg formula mobile robot shows the condition of going up and down a stairway.

[Description of Notations]

1 Leg Formula Mobile Robot (2-Pair-of-Shoes Bipedal Robot)

**2 Leg Link**

**10R, 10L Joint for leg winding**

**12R, 12L Joint of the pitch direction of the lumbar part**

**14R, 14L Joint of the roll direction of the lumbar part**

**16R, 16L Joint of the roll direction of a knee region**

**18R, 18L Joint of the roll direction of a guide-peg neck**

**20R, 20L Joint of the pitch direction of a guide-peg neck**

**22R, 22L \*\*\*\* (foot)**

**24 Case (Base)**

**26 Control Unit**

**38 Touch Sensor**

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 特許公報 (B2)

(11)特許番号

特許第3278467号

(P3278467)

(45)発行日 平成14年4月30日(2002.4.30)

(24)登録日 平成14年2月15日(2002.2.15)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

B 25 J 5/00  
B 62 D 57/032

識別記号

F I

B 25 J 5/00  
B 62 D 57/02

F  
E

請求項の数 1 (全 13 頁)

(21)出願番号

特願平4-241351

(22)出願日

平成4年8月18日(1992.8.18)

(65)公開番号

特開平6-63876

(43)公開日

平成6年3月8日(1994.3.8)

審査請求日

平成10年10月27日(1998.10.27)

(73)特許権者 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72)発明者

小澤 信明

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式

会社本田技術研究所内

(74)代理人

100081972

弁理士 吉田 豊 (外1名)

審査官 田村 耕作

(56)参考文献 特開 昭63-278773 (JP, A)

特開 平3-166078 (JP, A)

特開 平4-101791 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

B25J 5/00

B62D 57/032

(54)【発明の名称】 移動ロボットの制御装置

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 2足歩行の脚式移動ロボットの制御装置において、

a. 前記ロボットの階段昇降における移動量および移動方向の少なくともいずれかに関する目標値を決定または修正する第1の手段、

および

b. 前記ロボットと階段との相対関係を検出する第2の手段、

を備え、前記第1の手段は、前記第2の手段が任意のn段までに検出した前記相対関係に基づいて次のn+1段目の前記目標値を決定または修正するものであることを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。 10

【発明の詳細な説明】

【0001】

2

【産業上の利用分野】この発明は移動ロボットの制御装置に関し、より具体的には階段を昇降するときなど、着地位置に制約を受ける環境においても安定かつ高速に移動できる様にしたものに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、移動ロボットに関する技術としては車輪式、クローラ式、脚式などのロボットが提案されている。その中で、脚式移動ロボットの制御技術に関するものとして、1脚のロボットに関する技術 (Raibert, M. H., Brown, Jr. H. B., "Experiments in Balance With a 2D One-Legged Hopping Machine", ASME, J. of DSMC, vol. 106, pp. 75-81 (1984)), 2脚のロボットに関する技術 (日本ロボット学会誌 v o

1. 1, no. 3, pp. 167-203, 198  
 3)、4脚のロボットに関する技術（日本ロボット学会誌 vol. 9, no. 5, pp. 638-643, 1991）、6脚のロボットに関する技術（Fischetti, M. A., "Robot Do the Dirty Work," IEEE spectrum, vol. 22, no. 4, pp. 65-72 (1985). Shin-Min Song, Kenneth J. Waldron, "Machines That Walk; The Adaptive Suspension Vehicle", The MIT Press Cambridge, Massachusetts）が多数提案されている。更には、比較的低自由度のロボットでリアルタイムに力学的に安定な移動（歩行）パターンを生成する技術（下山、"竹馬型2足歩行ロボットの動的歩行"、日本機械学会論文集C篇、第48巻、第433号、pp. 1445-1454, 1982. および"Legged Robots on Rough Terrain; Experiments in Adjusting Step Length", by Jessica Hodgins. IEEE, 1988）や、比較的多自由度のロボットでオフラインで安定な移動（歩行）パターンを生成する技術（特開昭62-97006号、特開昭63-150176号）も提案されている。また本出願人も先に、特願平2-336420号などで2足歩行ロボットの制御装置を提案している。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、脚式移動ロボットの様に着地位置が離散的な移動体が、着地位置に制約を受ける環境を移動するとき、例えば階段などを昇降するときは、着地位置を細心に制御する必要がある。即ち、図13に示す様に脚式移動ロボットが階段を昇る際に、ロボットと階段との相対位置が後ろ過ぎると安定性を保つために活用できる接地面積が小さくなってしまって姿勢が不安定となり、逆に相対位置が前過ぎると、次の段に移動するとき遊脚が干渉して同様に姿勢の安定を崩す。この様に、階段など着地位置が制約を受ける環境を移動するときは、ロボットと階段との相対位置を制御する必要がある。

【0004】また、これに関連して従来より、遊脚を目指位置に正確に着地する様に制御するものが幾つか提案されている。例えば、足の先端に非接触タイプの超音波センサや接触タイプの接触センサなどを取りつけて、頻繁に検出信号を処理しつつ着地位置を探索して制御値を決定する、いわゆる足探りで歩行する手法が提案されている。またロボットの脚の振動などを抑える制御により、ロボットの実際の歩幅（歩容）が設計された値どおりになる様に歩行させるものも提案されている。これらの手法はロボットと実際の階段との相対位置誤差の発生を未然に防止しようとする考えに基づくが、前者の手法

によるときは遊脚で着地位置を検出しつつ歩行することから歩行速度を上げることができず、また後者の手法によるときは高性能の制御装置が必要となって制御構成が複雑となる不都合がある。

【0005】したがって、この発明の目的は、脚式ロボットなどの移動ロボットが、階段など移動に制約を受ける環境を移動するときも、安定した姿勢でかつ高速に移動できると共に、制御構成としても比較的簡易である移動ロボットの制御装置を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決するためにこの発明は例えば請求項1項に示す如く、2足歩行の脚式移動ロボットの制御装置において、前記ロボットの階段昇降における移動量および移動方向の少なくともいずれかに関する目標値を決定または修正する第1の手段、および前記ロボットと階段との相対関係を検出する第2の手段を備え、前記第1の手段は、前記第2の手段が任意のn段までに検出した前記相対関係に基づいて次のn+1段目の前記目標値を決定または修正するよう構成した。

## 【0007】

【作用】任意のn段までに検出した前記相対関係に基づいて次のn+1段目の前記目標値を決定または修正するようにしたので、相対位置誤差の累積を防止でき、簡易な構成でありながら、制約のある環境を移動するときも安定した姿勢で高速に移動することができる。

## 【0008】

【実施例】以下、脚式移動ロボットとして2足歩行のロボットを例にとってこの発明の実施例を説明する。図1はそのロボット1を全体的に示す説明スケルトン図であり、左右それぞれの脚部リンク2に6個の関節を備える（理解の便宜のために各関節をそれを駆動する電動モータで示す）。該6個の関節は上から順に、腰の脚部回旋用の関節10R, 10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、腰のピッチ方向（x軸まわりに回転）の関節12R, 12L、同ロール方向（y軸まわりに回転）の関節14R, 14L、膝部のロール方向の関節16R, 16L、足首部のロール方向の関節18R, 18L、同ピッチ方向の関節20R, 20Lとなっており、

その下部には足平（足部）22R, 22Lが取着されると共に、最上位には筐体（基体）24が設けられ、その内部には制御ユニット26が格納される。

【0009】上記において腰関節は関節10R (L), 12R (L), 14R (L) から構成され、また足関節は、関節18R (L), 20R (L) から構成される。また、腰関節と膝関節との間は大腿リンク32R, 32Lで、膝関節と足関節との間は下腿リンク34R, 34Lで連結される。ここで、脚部リンク2は左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの6×2=12個の関節（軸）をそれぞれ適宜な角度に

駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行することができる様に構成される。先に述べた様に、上記した関節は電動モータからなり、さらにはその出力を倍力する減速機などを備えるが、その詳細は先に本出願人が提案した出願（特願平1-324218号、特開平3-184782号）などに述べられており、それ自体はこの発明の要旨とするところではないので、これ以上の説明は省略する。

【0010】図1に示すロボット1において、足首部には公知の6軸力センサ36が設けられ、足平を介してロボットに伝達されるx, y, z方向の力成分F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub>, F<sub>z</sub>とその方向まわりのモーメント成分M<sub>x</sub>, M<sub>y</sub>, M<sub>z</sub>とを測定し、足部の着地の有無と支持脚に加わる力の大きさと方向とを検出する。また足平22R

(L)の裏面には図2に示す様に、多数の接触センサ38が保護膜380で被覆されつつマトリクス状に全面的に貼りつけられている。接触センサ38は公知のものであって導電性ゴム材を含んでおり、足平22R(L)が床面に接触して導電性ゴム材が圧潰されると電気抵抗が変化する。接触センサ38は処理回路39に接続される。図3はその処理回路39の詳細を示す説明図であり、接触センサ38の出力はアナログ値としてそれぞれセンサ駆動制御部390に送られ、そこでセンサ出力群は公知の手法で垂直方向と水平方向に走査されて多値のしきい値と比較され、その比較結果を総合して足平22R(L)が接触した物の形状、硬度に応じた値のビデオ信号として画像処理部391に出力する。画像処理部391では格納データベースと照合され、接触物の形状および接触位置が検出される。さらに、筐体24には傾斜センサ40が設置され、x-z平面内のz軸に対する傾きとその角速度、同様にy-z平面内のz軸に対する傾きとその角速度を検出する。また各関節の電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられる。さらに、図1では省略するが、ロボット1の適宜な位置には傾斜センサ40の出力を補正するための原点スイッチ42と、フェール対策用のリミットスイッチ44が設けられる。これらの出力は前記した筐体24内の制御ユニット26に送られる。

【0011】図4は制御ユニット26の詳細を示すプロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ40などの出力はA/D変換器50でデジタル値に変換され、その出力はバス52を介してRAM54に送られる。また各電動モータに隣

接して配置されるエンコーダの出力はカウンタ56を介してRAM54内に入力されると共に、原点スイッチなどの出力は波形整形回路58を経て、また接触センサ出力は入力回路59を経て、同様にRAM54内に格納される。制御ユニット内にはCPUからなる第1、第2の演算装置60, 62が設けられており、第1の演算装置60は後述の如くROM64に格納されている歩容パラメータを読み出して目標関節角度を算出してRAM54に送出する。また第2の演算装置62は後述の如くRAM54からその目標値と検出された実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な制御値を算出してD/A変換器66とサーボアンプを介して各関節を駆動する電動モータに出力する。

【0012】続いて、この制御装置の動作を説明する。

【0013】図5はこの制御装置の動作を示すフローチャートであるが、その説明に入る前に、図6以下を参照してこの発明の特徴を説明する。

【0014】この発明はその前提として、ロボットと階段の相対位置の制御をしなくても数段の昇降が可能な場合、言い換えれば、ロボットと階段の相対位置に歩行可能な範囲が存在し、1段の昇降で発生する相対位置誤差が小さい場合を考える。現実的にはこの様な場合が多いと考えられるので、この発明では遊脚を目標位置に正確に着地させるための制御は行わず、任意の1段で相対位置誤差が発生することは許容するが、この相対位置誤差が累積することを防止する制御を行ない、ロボットと階段の相対位置を前記した歩行可能な範囲内に制御することによって、階段を連続的に昇降できる様にした。この発明は前記した従来技術に比べて、遊脚を使って階段の位置を検出する必要がないので高速に昇降することができ、またさほど高性能の制御装置を必要としないので構成が簡易となる。

【0015】図6は、この発明の実施例における制御ブロック図である。図で、S(z)は目標着地位置（目標値）、U(z)は歩幅指令値（操作量）、Y(z)は実着地位置（制御量）、E(z)は相対位置誤差（制御偏差）、Δ(z)は外乱、I(z)は積分要素、(1/z)は1サンプリング遅れ要素、K(z)は制御装置、G(z)はロボット（制御対象）の歩幅指令値から実歩幅までのパルス伝達関数を表している。これらの関係は、数1、数2に示す様になる。

【0016】

【数1】

(4)

特許3278467

$$Y(z) = \frac{G(z) \{1 + z^{-1} I(z) K(z)\}}{1 + z^{-1} I(z) K(z) G(z)} S(z) \quad 7$$

$$+ \frac{1}{1 + z^{-1} I(z) K(z) G(z)} \Delta(z) \quad 8$$

$$= \frac{G(z) \{z - 1 + K(z)\}}{z - 1 + K(z) G(z)} S(z)$$

$$+ \frac{z - 1}{z - 1 + K(z) G(z)} \Delta(z)$$

【0017】

$$E(z) = \frac{z \{1 - G(z)\}}{z - 1 + K(z) G(z)} S(z) \quad * \text{【数2】}$$

$$- \frac{z}{z - 1 + K(z) G(z)} \Delta(z)$$

【0018】仮に、簡略化のために、 $G(z)$ をゲイン

※【0019】

 $g$ 、制御装置 $K(z)$ をゲイン $k$ とすれば、安定条件は

【数3】

数3に示す様になる。※

安定条件  $|z| < 1$ 

$$\left. \begin{array}{l} 1 - kg < 1 \rightarrow -kg < 0 \rightarrow kg > 0 \\ -1 < 1 - kg \rightarrow -2 < -kg \rightarrow kg < 2 \end{array} \right\} 0 < kg < 2$$

【0020】また、階段の長さが $L$ （図7に示す）で一

★に応じて一定値に収束する。

定ならば、目標位置はステップ状に変化するので、これ

【0021】

に対する定常偏差は、数4に示す様になり、 $k, g, L \star$ 

【数4】

$$e^\infty = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot \frac{z}{z - 1} L \cdot \frac{z(1 - g)}{z - 1 + kg}$$

$$= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z(1 - g)}{z - 1 + kg} L$$

$$= \frac{1 - g}{kg} L$$

【0022】同様に、大きさ $D$ のインパルス状の外乱およびステップ状の外乱に対する定常偏差は数5、数6に示す様になり、0または $k, g, D$ に応じて一定値に收

束する。

【0023】

【数5】

9

$$\begin{aligned}
 e^\infty &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot z^{-e} \cdot D \cdot \frac{z}{z - 1 + kg} \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{(z - 1) \cdot z^{-e}}{z - 1 + kg} D \\
 &= \frac{0}{kg} D \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

【0024】

$$\begin{aligned}
 e^\infty &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot \frac{Dz}{z - 1} \cdot \frac{z}{z - 1 + kg} \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z}{z - 1 + kg} D \\
 &= \frac{1}{kg} D
 \end{aligned}$$

【0025】ゲインkは外乱などによって発生した相対位置誤差が速やかに収束し、かつ、定常偏差が許容範囲内に収まる様に決定すれば良い。更に、制御装置K(z)を積分要素を含む様に構成すれば、ステップ状目標値、ステップ状外乱に対する定常偏差を0にすることができる。

【0026】実施例では、まずG(z)をゲインgとして同定した。図8はx(n)/u(n)をヒストグラムに表したものである。本来は、外乱の影響を含まないG(z)、即ち、gを同定したいところであるが、w(n)の検出が困難であるために、x(n)/u(n)から同定した。裾が広くなっていることの要因は、外乱によるものが大きいと推定されるので、G(z)をゲインとしても大きな問題にはならない。分布の中心が1.02であるので、g=1.02としても良いと思われるが、安全側に評価するため、g=1.06とした。制御装置K(z)をゲインkとする。このときの制御系が安定になるための条件は数3式より、 $0 < k < 1.89$

( $\approx 2/g$ )となる。数4式などよりkが大きい方が定常偏差は小さくなるが、制御系の特性が振動的になるのを回避し、ゲインに余裕を持たせるために、k=0.5ないしは0.75とした。また、比較のために、本制御を行わない場合の結果を図9に示す。図10はk=0.5の場合、図11はk=0.75の場合である。どちらも昇降した階段の長さは、280mmである。図9から明らかに、本制御を行わない場合は、ほぼ直線的に相対位置誤差が増加し、3から4段目で20mmを超ってしまう。これに対して本制御を行った結果は、図10、図11に示した様に相対位置誤差は発散せず、ほぼ一定値に収束していることが分かる。相対位置誤差はk=

0.5の場合が10mm程度に、k=0.75の場合が7.5mm程度に収束している。g=1.02として数4式によれば、k=0.5のときには11mm、k=0.75のときには7mmとなるので、実施例の結果は理論的に見て妥当であることが分かる。

【0027】以上を前提として、図5フロー・チャートを参照して本制御装置の動作を説明する。

【0028】まず、S10で装置各部をイニシャライズしてS12に進み、そこで歩容パラメータを前記したROM64からロードする。本実施例では、ロボットの歩容は力学的安定条件を考慮して予め設計され、歩容パラメータとしてROM64に記憶されている。この歩容パラメータは遊脚目標着地位置などで表現される。続いてS14に進んでスタート信号を待機し、スタート信号が生じるとS16に進んでカウンタをインクリメントし、S18に進んで歩容修正タイミングか否か判断する。これについては後述する。

【0029】続いてS20に進んで姿勢パラメータを計算する。これは前記した歩容パラメータの中に補間演算を必要とするものがあるため、ここでそれを求め、S16のカウンタで指定される時刻の姿勢パラメータを計算する。続いてS22に進んでそれから12個の関節の角度を計算し、S24に進んで同期信号を待機し、同期が取れたところでS26に進んで算出した関節角度を出し、S28に進んで歩行終了と判断されない限り、S16に戻って同様の作業を繰り返すと共に、終了と判断されるときはS30に進んでカウンタをリセットして終わる。即ち、S16のカウンタの単位時間(例えば20ms)ごとにS16からS28をループする。またS26で出力された関節角度に基づき、その関節角度となる様

30

40

50

50

に前記した第2の演算装置62においては図12に示すフロー・チャートに従ってサーボ制御が並行的に行われるが、この作業は公知であるので、説明は省略する。

【0030】ここまで手順で、ロボットは予め設計された力学的に安定な歩容を再現し、歩行する。また、外乱に対抗して歩行の安定性を維持するための制御も同時に行われている。しかし、ここでは安定化制御についての説明は省略する。以上まで述べた手法で、ロボットは相対位置誤差が累積され、相対位置が歩行可能な範囲から外れるまでは階段を昇降することができる。本実施例では、長さが280mmの一般的な階段を昇降した場合、前記した相対位置誤差の歩行可能な範囲は±60mm、また環境や外乱に左右されるが、平均的には、階段1段の昇降当たりに発生する相対位置誤差は5から10mm程度なので、10段前後まで連続して昇降できた。

【0031】ここで、図5フロー・チャートにおいてはS18で歩容修正タイミングであるか否か判断されるが、この制御においては脚が離床した時点を歩容修正タイミングとした。本実施例において、相対位置誤差を検知するタイミングを離床のときとしたのは、離床以前に相対位置誤差を検知し、目標着地位置にフィードバックすれば遊脚軌道を遊脚期間全体を使って修正できるので、急激ではなく、滑らかな変更が可能となり、歩容の安定性の低下を最小限に抑えることができると共に、時間的に最新の相対位置誤差を制御に使用できるからである。

【0032】そしてS18で離床時と判断されるときはS32に進み、ロボットが階段を昇降しているときには1段ごとに、足平22R(L)に配置された接触センサ38で階段のエッジを検出し、歩容パラメータ中に記載されているエッジの目標位置と比較して階段との相対位置誤差を検知する。続いてS34に進み、検出した相対位置誤差に応じてそれが累積しない様に適当な目標歩幅修正量を決定し、続いてS36に進んで歩容パラメータ中に記載されている目標着地位置を書き換える。目標着地位置が更新されると、ロボットの歩容は予め設計された歩容から、具体的には歩幅が変更される。例えば、任意の段での相対位置誤差が+20mmでゲインが0.5とすれば、次の1歩の歩幅は図7から明らかな様に、280mm(階段の長さ) - (20mm × 0.5) = 270mmとする。そして足平22R(L)の着地位置はx, y, z方向とそれらの軸まわりの回転で決定されるので、変更した歩幅となる様に、それらの全てまたは一部を修正する。以上の手順を階段昇降中に1歩ごとに繰り返せば、相対位置誤差の累積を防止することができ、連続して何段でも昇降することができる。

【0033】ここで、歩容は力学的安定条件を考慮してあらかじめ設計され、歩容パラメータとしてROM64内に記憶するものとしたが、それはロボットの自由度が12個で力学的安定問題を解くための演算量が多いこと

から、予め安定問題を解いておいて、歩行中のコンピュータの負担を軽くすることが狙いであり、また一つの特徴である。安定問題を解いた結果としては、ロボットの腰位置、または重心位置が歩容パラメータと一緒に時系列データとして記憶されている。前記手順において目標着地位置を歩行中に変更することに伴い、腰位置または重心位置も変更しなければならない。ここで、再び力学的安定問題を解いて腰または重心位置を決定しても良いが、本実施例では前記した狙いを維持するために、歩容パラメータ中に記載されている腰または重心位置の時系列データを修正する手法を使用する様にした。さらに、着地位置や方向を3次元空間内で任意に変更しても対応できる様にするために、次に述べる手法を使用して腰または重心位置を修正する様にした。腰または重心位置や方向の最終的な修正量は、着地位置や方向の修正量に等しいので、平行移動や回転移動の座標変換により、最終的な腰または重心位置ないしは方向が求まる。同様に、過渡的な位置や方向も座標変換により求めることができる。このとき、座標変換のパラメータとして使用する修正量をいきなり着地位置や方向の修正量に変更するのではなく、着地する時刻に着地位置や方向に一致する様に加速度まで連続させて徐々に腰位置の修正量を変更する。この腰位置や方向の修正手法によれば、予め設計した歩容の安定性を大きく損なうことなく、腰位置などを修正することができる。またさらに、ロボットの力学的な安定問題は非線形性が強いので、例えば5次の多項式で記述できる様な単純な加速度連続のパターンではなく、ロボットの特性を考慮した加速度連続パターンを使用することにより、安定性の低下を最小限に抑えることができる。本実施例では、この手法により、ロボットの姿勢を安定に保ちつつ着地位置を一度に±50mmまで修正することができた。

【0034】この実施例は上記の如く、相対位置誤差が累積して許容範囲を超えないようロボットの歩行が破綻しないことに着目し、脚が離床するときのみを修正タイミングとする様にしたので、換言すれば着地位置や遊脚の位置を頻繁に検出して制御値を頻繁に修正することを避けたので、従来技術で述べた遊脚を使用して階段の位置を検出する場合に比して、ロボットの歩行速度を上げることができる。また、脚の振動などを抑制して目標歩幅となる様に制御する場合に比しても、さほど高性能の制御装置を必要とせず、構成が簡易となる。

【0035】尚、上記実施例で図5フロー・チャートのS18で脚が離床する度に誤差に応じて歩容を修正する様にしたが、検出された誤差の累積値が許容範囲を超える様になったときだけ、歩容を修正しても良い。また離床以外の時点をもって歩容の修正タイミングとしても良い。

【0036】また、上記実施例では階段を踏み外さない様に、着地位置を前後方向に制御する場合に適用した例

で説明したが、他にも、

1. 枕木の上を歩くときに踏み外さない様に、
2. レールの上を歩くときに左右方向に踏み外さない様に、
3. 直線、折れ線、曲線などで指令された経路（進行方向）どおりに歩行するとき、
4. 目標地点や通過地点に定められた時刻に到着、通過する様に、
5. 螺旋階段を昇降するとき、など、制御したいパラメータが離散的であるものに対して、位置であると方向であるとを問わず、広く適応することができる。また、螺旋階段を昇降するときなど、同時に複数の離散的な制御パラメータがある場合に対しても適用することができる。

【0037】また2足歩行脚式移動ロボットの例のみ示したが、1足の脚式移動ロボットにも妥当し、更には3足以上の脚式移動ロボットにおいても同様に妥当する。3足以上の場合には、各足についてその足が離床する度に着地位置誤差を修正するか、各足の誤差の合計値が許容範囲を超えたとき、いずれかの足か全ての足の着地位置誤差を修正することになる。更には、着地位置が離散的に制約される移動体であれば、脚式移動ロボットに限らず、妥当するものである。

【0038】また上記実施例では着地位置誤差の検出に足平接触センサを用いたが、それに限られるものではなく、超音波センサ、光学式センサ、視覚センサなど種々の検出手段を用いても良い。

【0039】

【0040】

【0041】

【0042】

【発明の効果】請求項1項にあっては、2足歩行の脚式移動ロボットの制御装置において、前記ロボットの階段昇降における移動量および移動方向の少なくともいずれかに関する目標値を決定または修正する第1の手段、および前記ロボットと階段との相対関係を検出する第2の手段を備え、前記第1の手段は、前記第2の手段が任意のn段までに検出した前記相対関係に基づいて次のn+1段目の前記目標値を決定または修正するように構成したので、簡易な構成でありながら相対位置誤差の累積を防止でき、2足歩行の脚式移動ロボットが階段を昇降するときも安定した姿勢で高速に移動することができると共に、歩容の安定性の低下を最小限に抑制しつつ目標値を最適に決定（修正）することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る移動ロボットの制御装置を2足

歩行の脚式移動ロボットを例にとって全体的に示す概略図である。

【図2】図1のロボットの足平の底面図で、そこに取りつけた接触センサを示す説明図である。

【図3】図2の接触センサの処理回路を示すブロック図である。

【図4】図1に示す制御ユニットの説明ブロック図である。

【図5】図4の制御ユニットの動作を示すフロー・チャートである。

【図6】図5フロー・チャートの制御のうちの着地位置補正制御を示すブロック図である。

【図7】図6で予定する階段の昇降動作を示す説明図である。

【図8】図1に示すロボットの階段昇降時の目標着地位置に対する実際着地位置のずれ特性を示すヒストグラムである。

【図9】図8に示す特性を持つロボットがこの発明による制御を行わずに階段を昇降したときの目標着地位置と実際着地位置との誤差を示す実験データ図である。

【図10】図8に示す特性を持つロボットがこの発明による制御を行って階段を昇降したときの目標着地位置と実際着地位置との誤差を示す実験データ図である。

【図11】図8に示す特性を持つロボットがこの発明による制御を行って階段を昇降したときの目標着地位置と実際着地位置との誤差を示す別の実験データ図である。

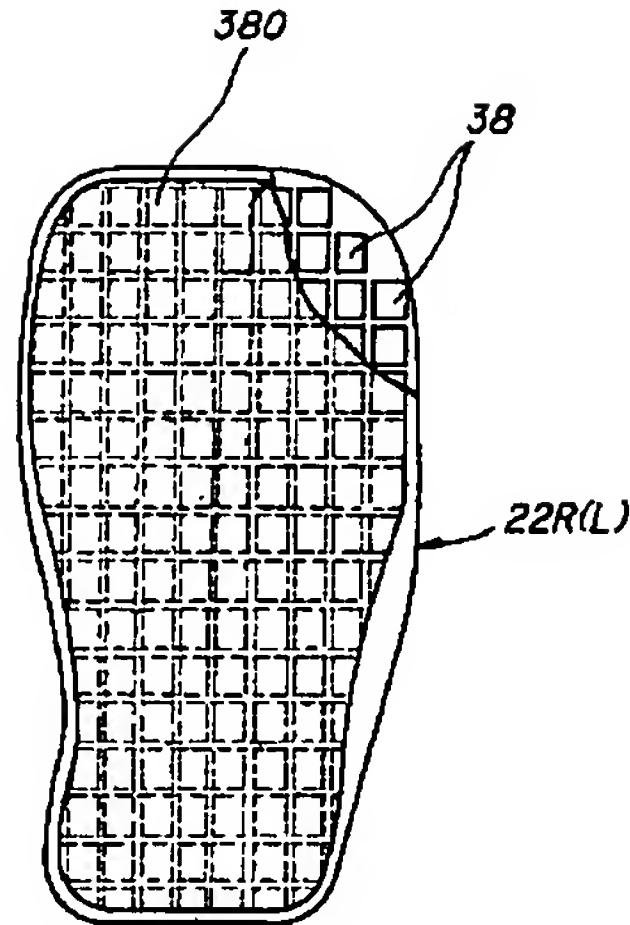
【図12】図5フロー・チャートで決定され出力される関節角度を目標値にサーボ制御する作業を示すフロー・チャートである。

【図13】脚式移動ロボットが階段を昇降する状態を示す説明図である。

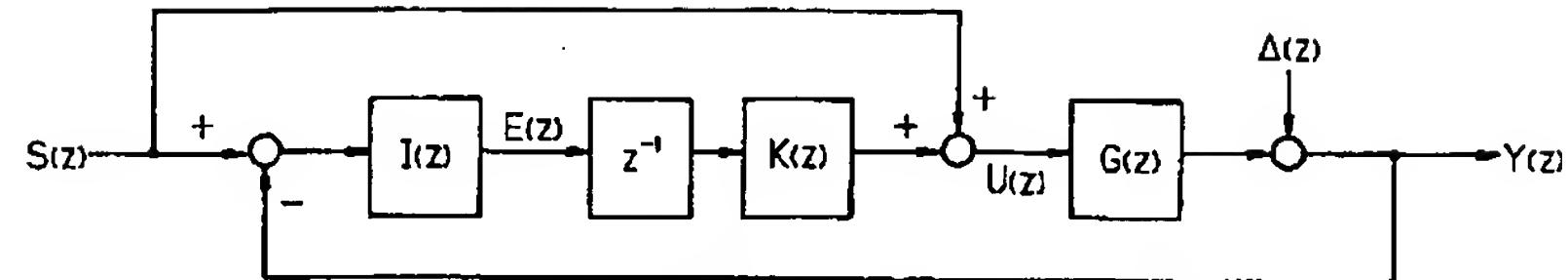
【符号の説明】

1	脚式移動ロボット（2足歩行ロボット）
2	脚部リンク
10 R, 10 L	脚部回旋用の関節
12 R, 12 L	腰部のピッチ方向の関節
14 R, 14 L	腰部のロール方向の関節
16 R, 16 L	膝部のロール方向の関節
40 18 R, 18 L	足首部のロール方向の関節
20 R, 20 L	足首部のピッチ方向の関節
22 R, 22 L	足平（足部）
24	筐体（基体）
26	制御ユニット
38	接触センサ

【図2】



【図6】

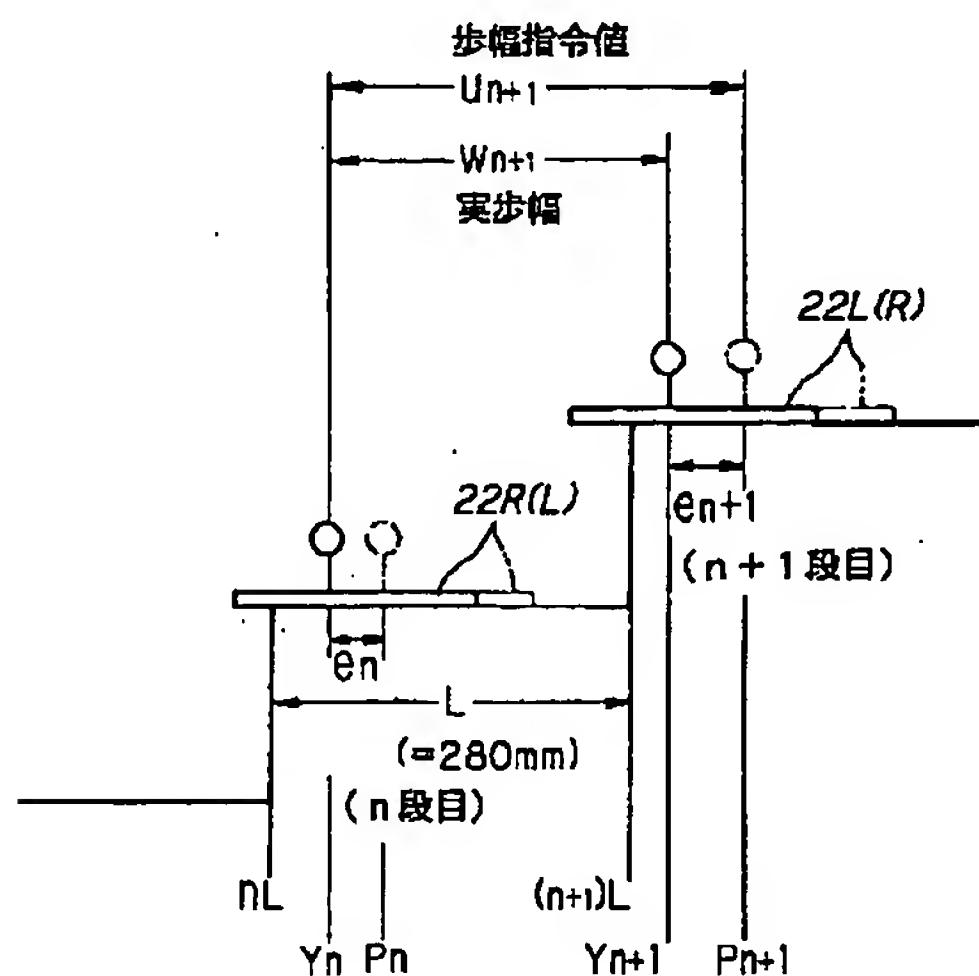
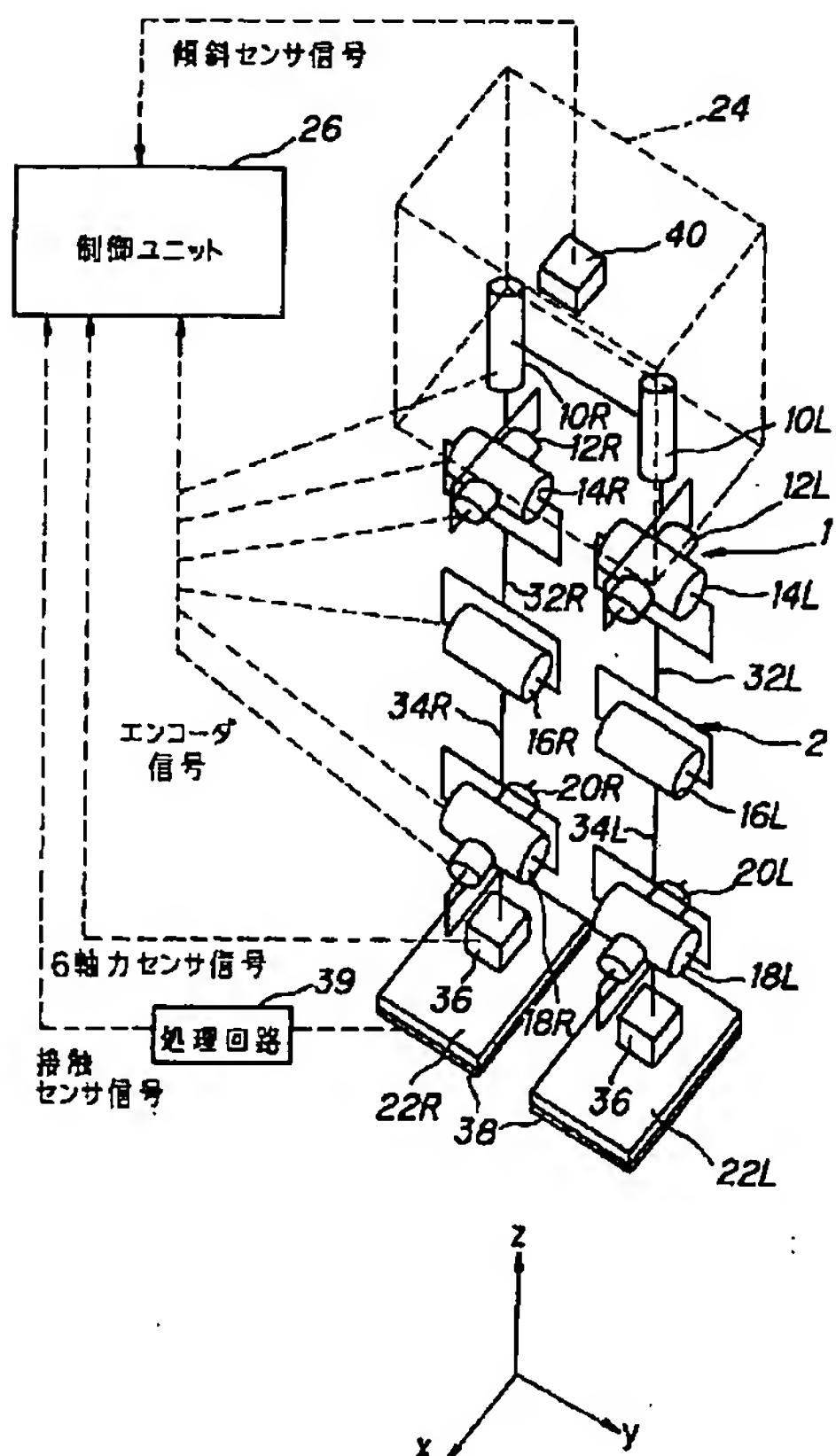


【図7】

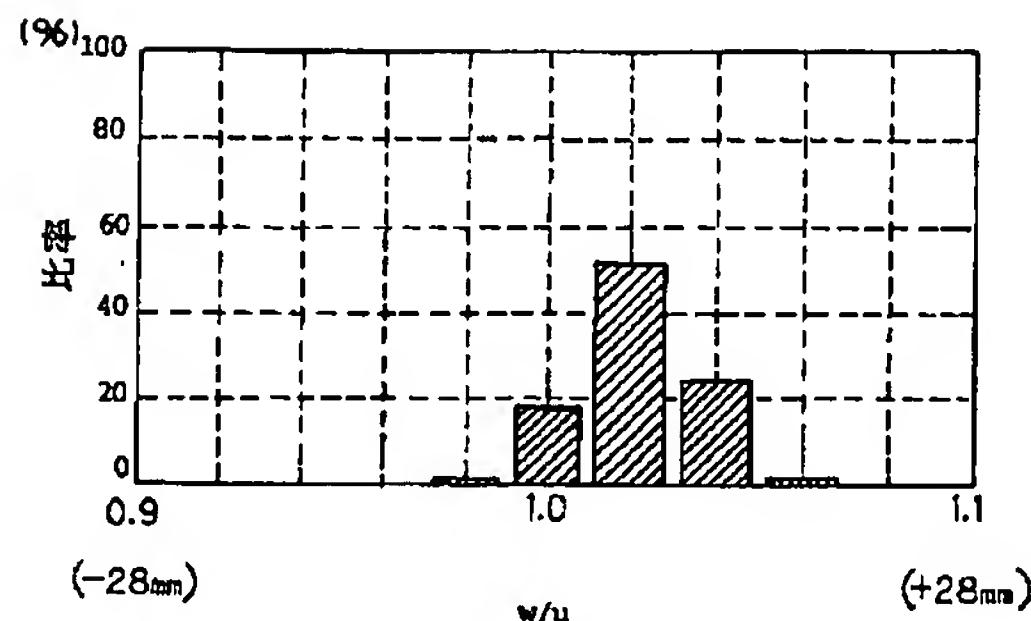
$$\begin{aligned}K(z) &= k \\I(z) &= \frac{z}{z-1} \\G(z) &= g\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_n &= P_n - P_{n-1} + k e_{n-1} \\&= L + k e_{n-1}\end{aligned}$$

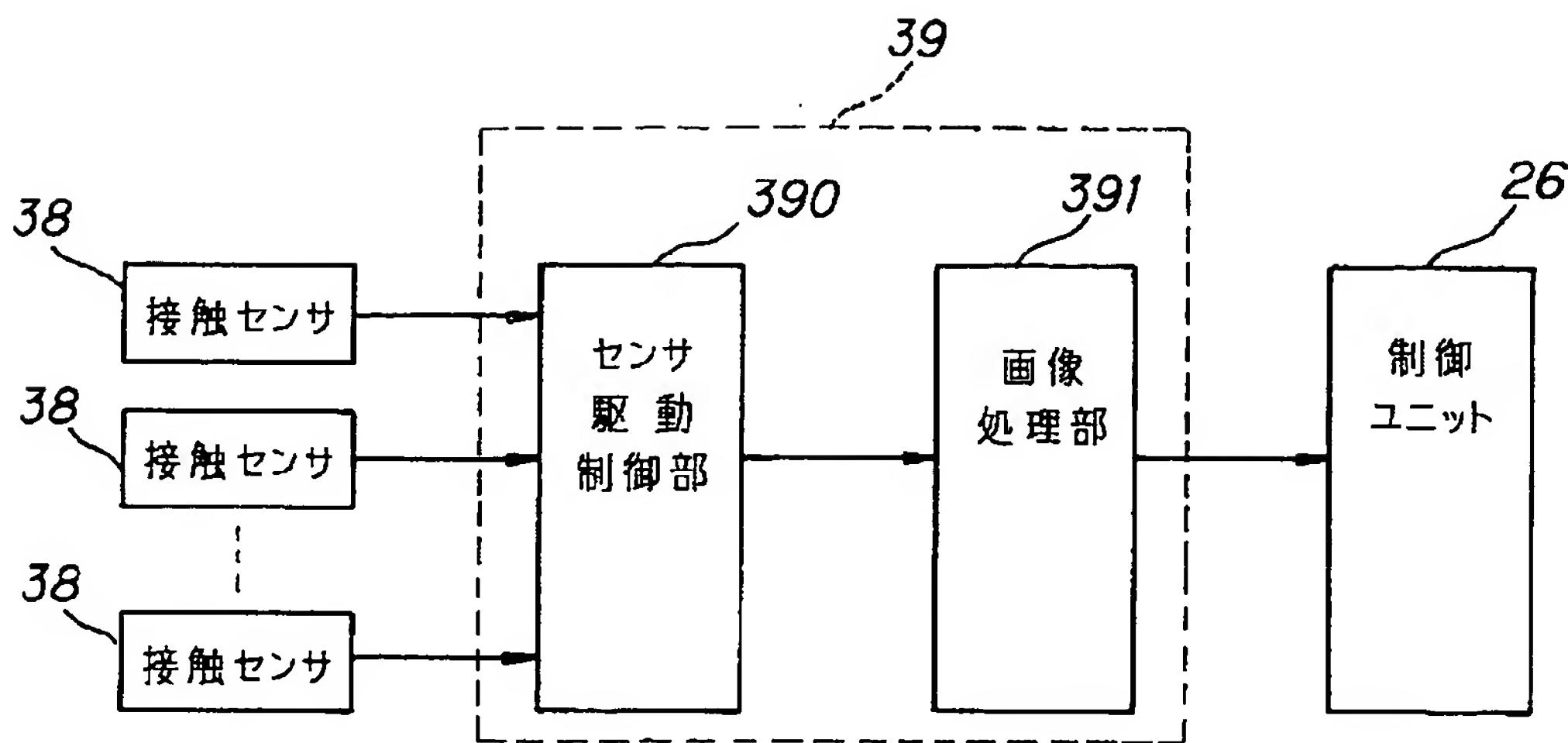
【図1】



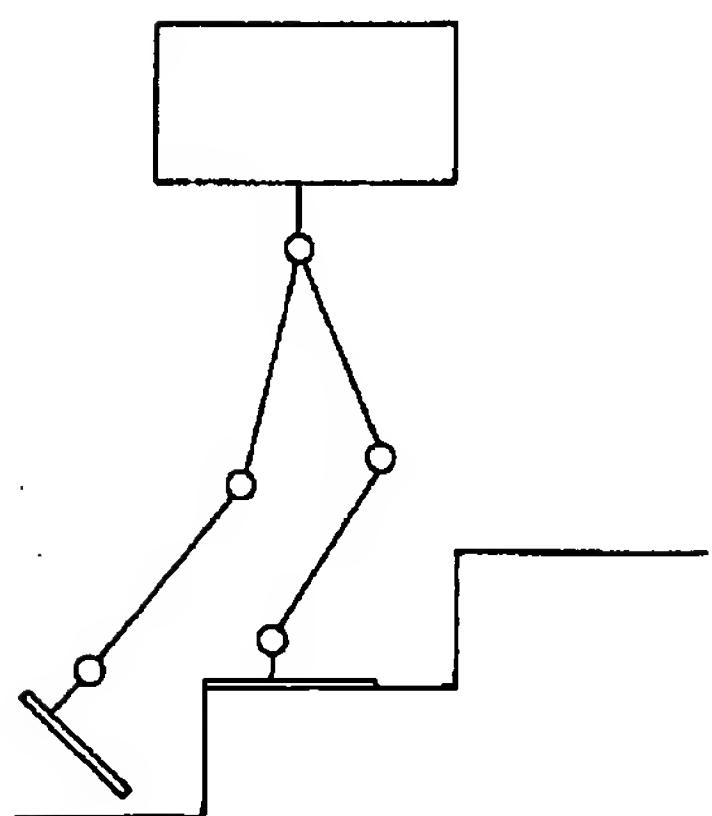
【図8】



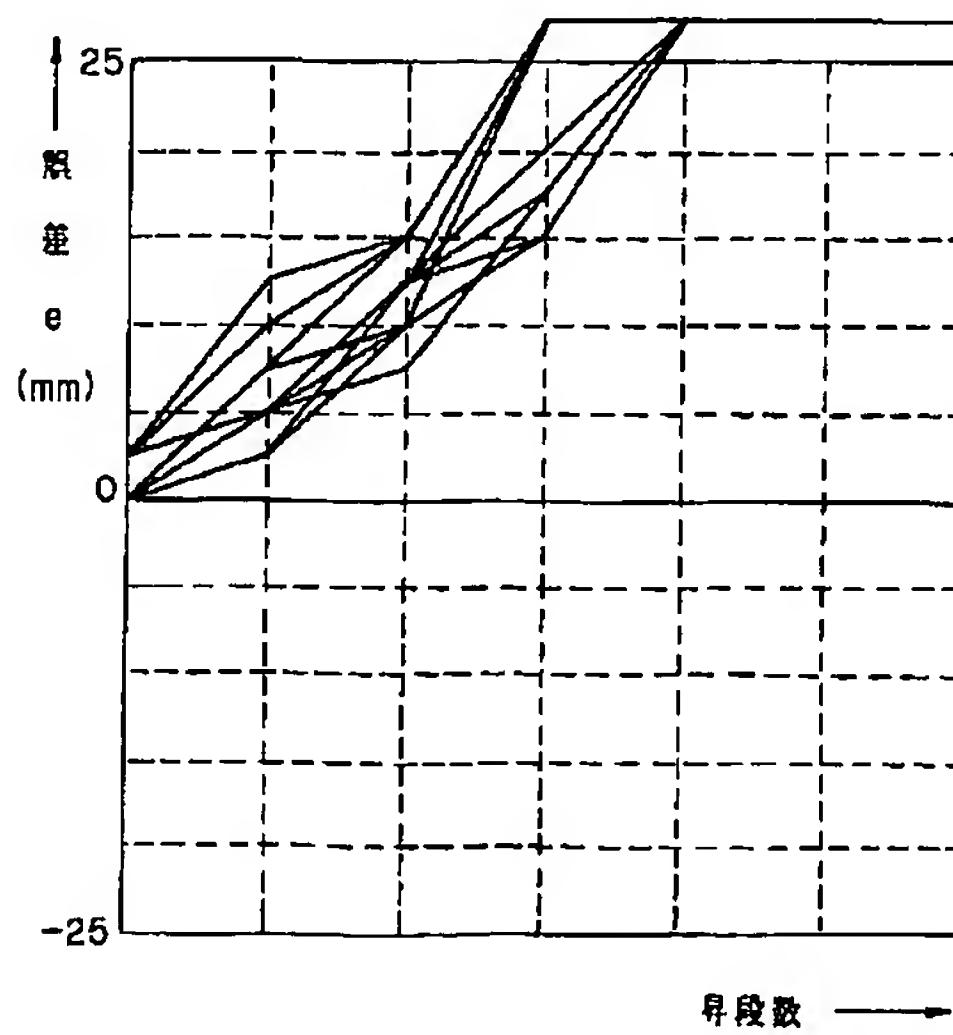
【図3】



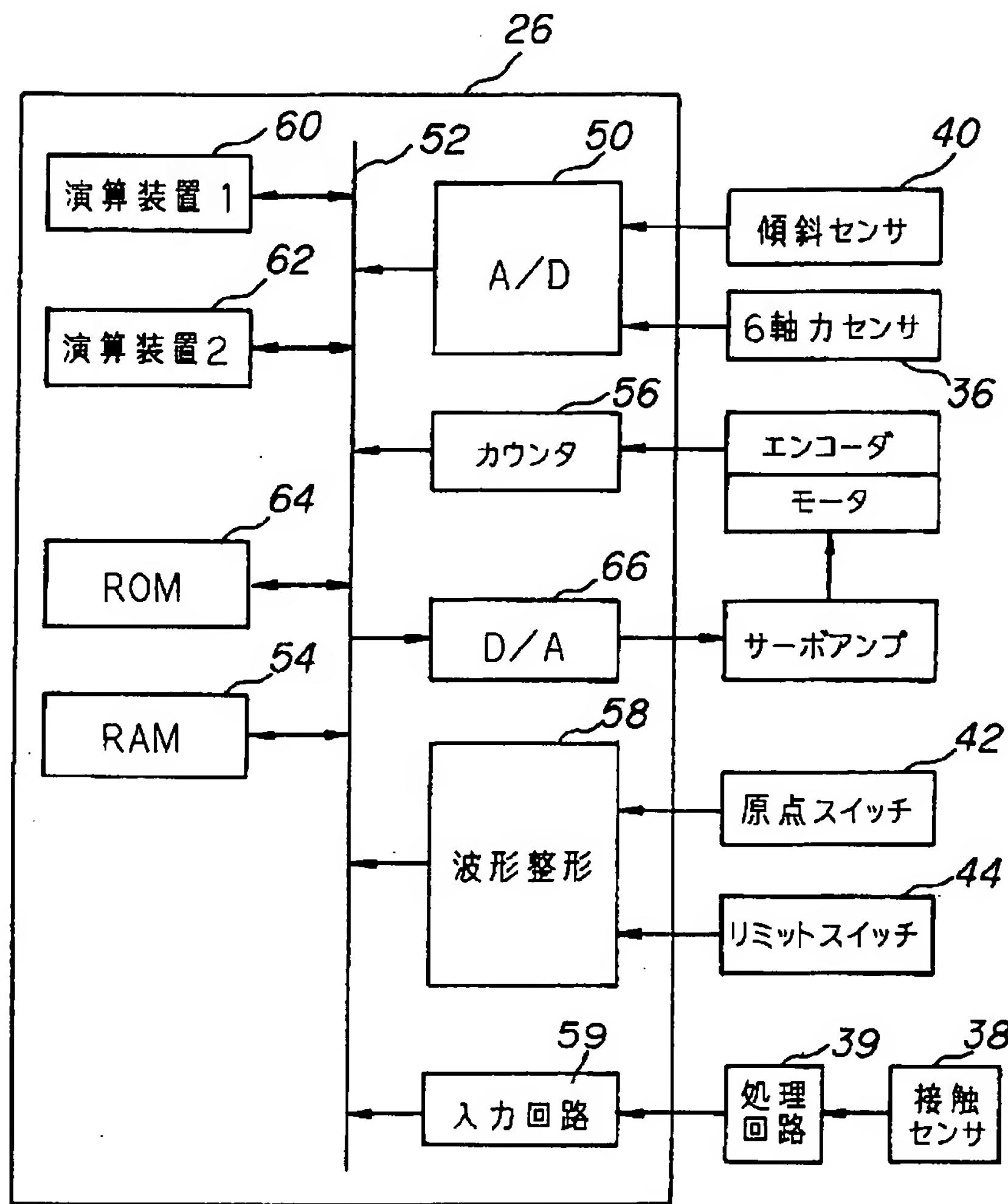
【図13】



【図9】

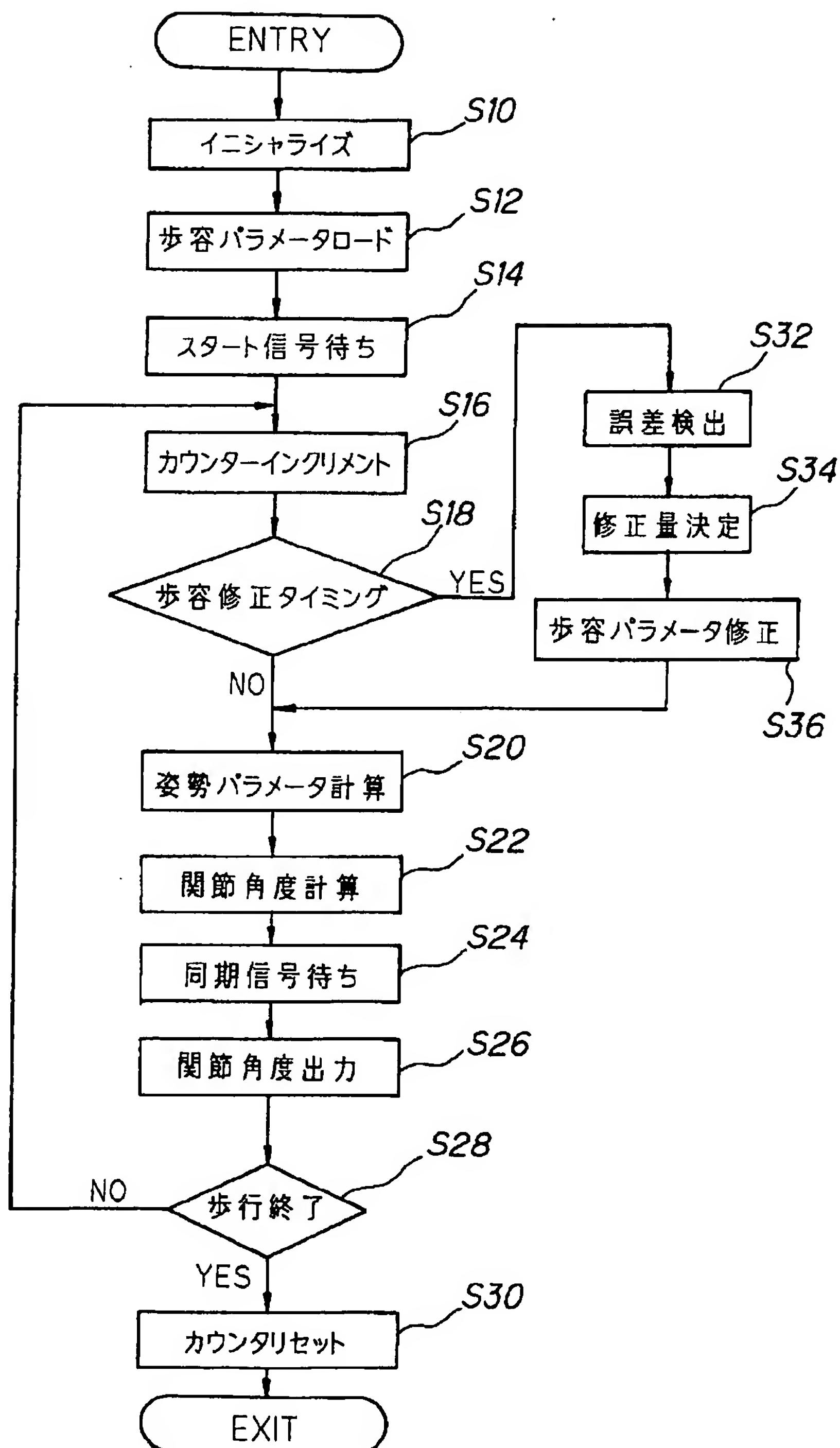


【図4】



制御ユニット

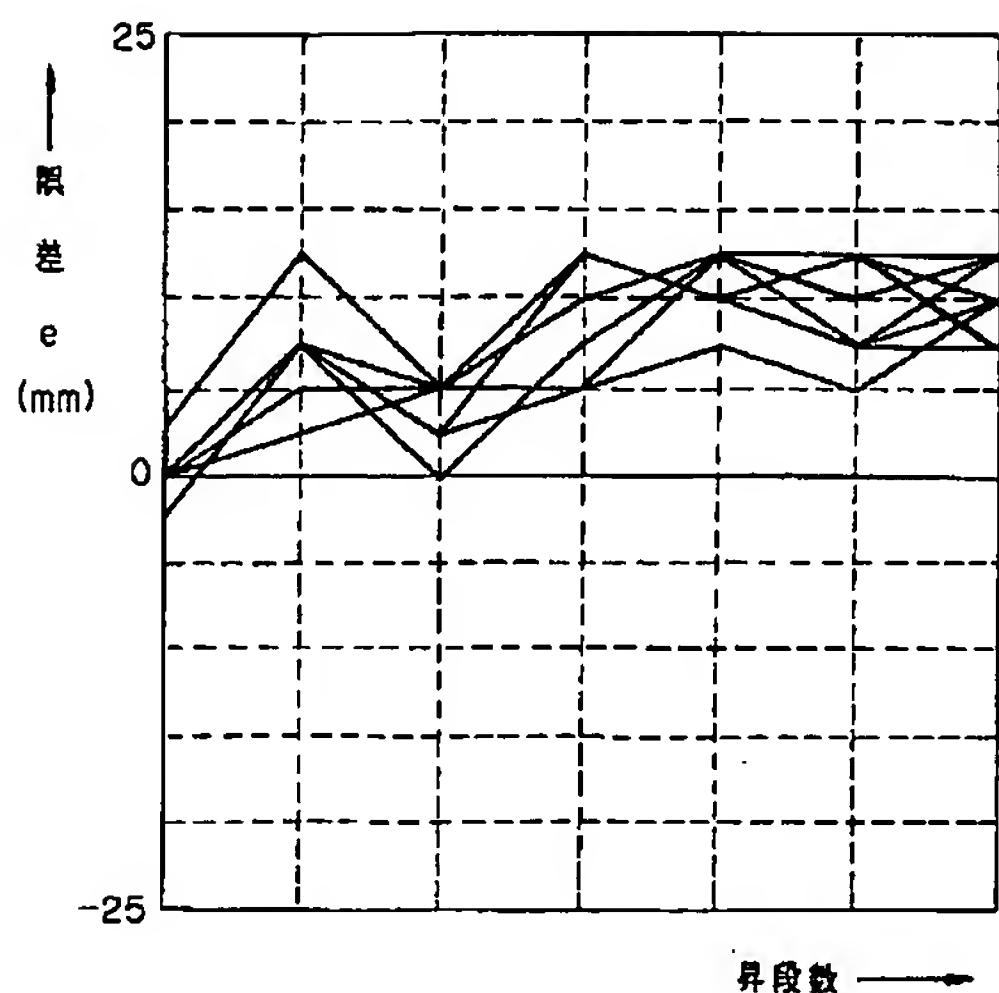
【図5】



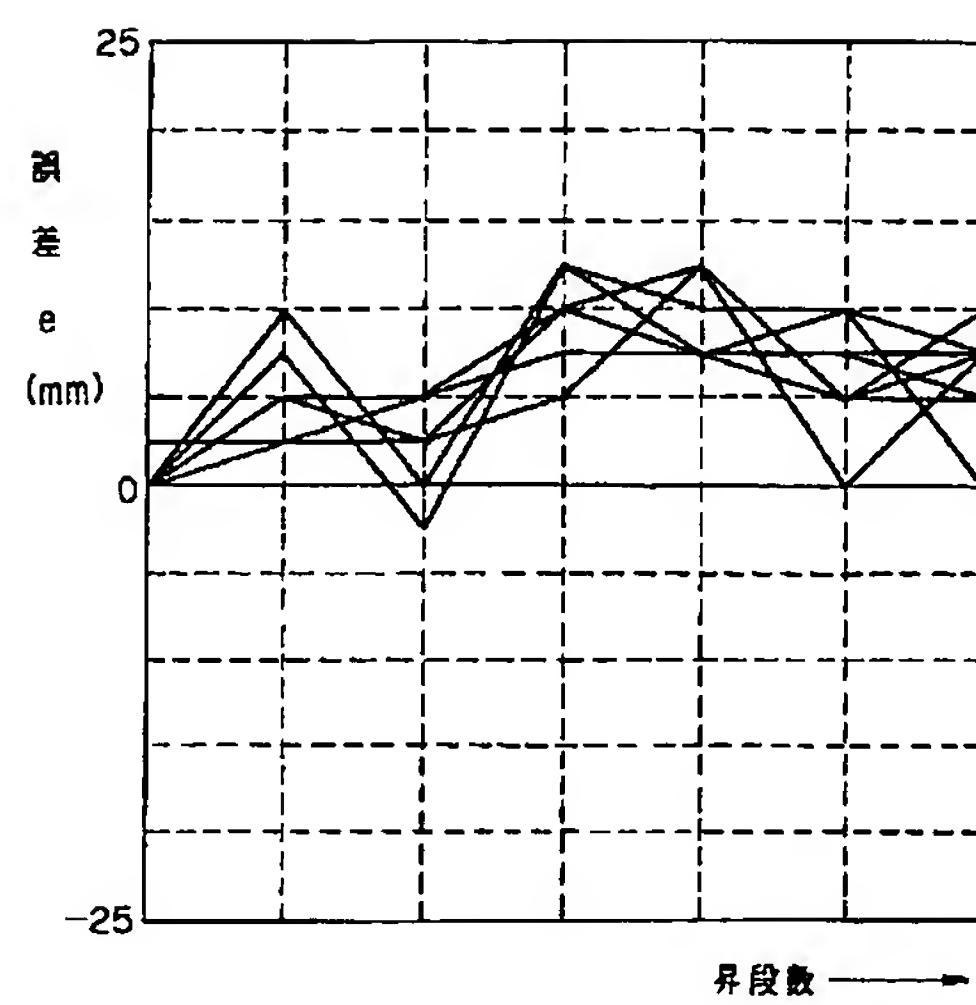
(12)

特許 3278467

【図10】



【図11】



【図12】

